

УДК 630\*521.2:630\*522.3

**ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЯ ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР  
(PÍNUS SYLVÉSTRIS L., BETULA PENDULA ROTH, LARIX SUKACZEWII D Y L.)  
В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМБИНАТОМ «МАГНЕЗИТ» НА ЮЖНОМ УРАЛЕ**

К. Е. ЗАВЬЯЛОВ – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник,  
тел.: 8(343)322-56-33; e-mail: zavyalov.k@mail.ru \*

С. Л. МЕНЩИКОВ – доктор сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник, заведующий лабораторией ЭТРС,  
тел.: 8(343)322-56-47; e-mail: msl@botgard.uran.ru \*

П. Е. МОХНАЧЕВ – младший научный сотрудник,  
тел.: 8(343)322-56-49; e-mail: mohnachev74@mail.ru \*

Н. А. КУЗЬМИНА – младший научный сотрудник,  
тел.: 7(912)202-63-49; e-mail: yarkaya05@mail.ru \*

\* ФГБУН Ботанический сад Уральского отделения РАН,  
620134, Екатеринбург, ул. Билимбаевская, д. 32а

**Ключевые слова:** экспериментальные лесные культуры, лесовосстановление, техногенное загрязнение.

Воздействие хронического аэротехногенного загрязнения вблизи крупных промышленных центров приводит к гибели или сильному повреждению зелёных насаждений, в то время как они выполняют не только важные эстетические функции, но и функцию эффективного фитофильтра и оказывают значительное положительное влияние на экологическую обстановку в городских и пригородных районах. В настоящее время создание экологически благоприятной среды в крупных промышленных центрах является важной задачей. Насаждения в промышленных центрах очищают воздух, улучшают микроклимат, локализуют и обезвреживают токсичные выбросы. В результате возникает необходимость лесовосстановления нарушенных земель и создания устойчивых к аэротехногенным выбросам насаждений. Вследствие этого целью наших исследований являлось изучение устойчивости основных лесообразующих древесных видов в условиях загрязнения магнезитового производства с возможностью применения мелиорантов. Наши исследования проводились в окрестностях г. Сатка Челябинской области на опытных участках в градиенте загрязнения. Установлено негативное влияние техногенных выбросов комбината «Магnezит» на опытные культуры. У опытных культур наблюдается снижение роста и ухудшение их жизненного состояния. Выявлено положительное влияние низинного торфа, внесенного при посадке культур, позволившее снизить негативное воздействие аэротехногенных выбросов комбината. Установлено, что в зоне сильного загрязнения можно создавать культуры, применяя при посадке торф в достаточных количествах (например низинный торф слоем не менее 12 см). Создание культур в зонах среднего и слабого загрязнения возможно из любых исследуемых видов без каких-либо специальных мелиорантов.

**DAMAGE ASSESSMENT OF EXPERIMENTAL CULTURES  
(PÍNUS SYLVÉSTRIS L., BETULA PENDULA ROTH, LARIX SUKACZEWII D Y L.)  
IN THE CONDITIONS OF POLLUTION OF THE MAGNEZIT PLANT  
IN THE SOUTHERN URALS**

K. E. ZAVYALOV – candidate of Agricultural Sciences, Research Officer,  
phone: 8(343)322-56-33; e-mail: zavyalov.k@mail.ru\*

S. L. MENSCHIKOV – doctor of Agricultural Sciences, senior Researcher Officer,  
head of the laboratory of Ecology Anthropogenic Plant Communities,  
phone: 8(343)322-56-47, e-mail: msl@botgard.ru\*

P. E. MOKHNACHEV – research assistant,  
phone: 8(343)322-56-49; e-mail: mohnachev74@mail.ru\*

N. A. KUZMINA – research assistant,  
phone: 7(912)202-63-49; e-mail: yarkaya05@mail.ru\*

\* Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Address:  
620134, 32A, Bilimbaevskaya Str., 620134, Yekaterinburg, Russia

**Keywords:** *experimental forest cultures, reforestation, technogenic pollution.*

The impact of chronic aero technogenic pollution near large industrial centers leads to death or strong damage of green plantations while plantations perform not only important esthetic functions, but also the function of an effective phytofilter and have a considerable positive impact on the ecological situation in urban and suburban areas. Now the creation of ecologically favorable environment in large industrial centers is an important task. Plantations in industrial centers purify air, improve the microclimate, localize and neutralize toxic emissions. In the conditions of chronic aero technogenic pollution reforestation of damaged lands and the creation of plantations resistant against aero technogenic emissions, the recovery of their protective and esthetic functions have become a problem. As a result of this there is a necessity of forest renewal of damaged lands and creation of plantations which would be resistant against aero technogenic emissions. Thereof the purpose of our research was to study stability of the main forest forming wood types in the conditions of pollution with magnesite production with a possibility of application of ameliorants. Our research was conducted in vicinities of the town of Satka of Chelyabinsk region on the experimental sites along the pollution gradient. Established negative influence of technogenic emissions of the «Magnezit» plant for the experimental culture. In experimental cultures, a decrease in tree growth and the deterioration of their life condition. We have revealed the positive influence of the low-lying peat laid while planting cultures, which has allowed reducing the negative impact of aero technogenic emissions of the combine. It has been found out that in a zone of strong pollution it is possible to create cultures by applying peat in enough amounts while planting (for example, low-lying peat with a layer of at least 12 cm). The creation of cultures in zones of average and weak pollution is possible for any researched species without any special ameliorants.

### Введение

Один из мощных источников аэротехногенного загрязнения в Саткинском районе Челябинской области – комбинат «Магнезит». Основным компонентом аэротехногенных отходов, по-

падающих в атмосферу, является магнезитовая пыль, состоящая в основном из окиси магния. Окись магния хорошо гидратируется, образуя при соединении с водой слабую щелочь  $Mg(OH)_2$  [1]. На частицах пыли

адсорбируются и конденсируются пары щелочей, серный ангидрид и фтор, содержащиеся в дымовых газах, образуя простые и сложные сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов и фторид магния [2]. Загрязнение

в данном районе относится к щелочному типу. В градиенте загрязнения по мере приближения к комбинату «Магnezит» установлено увеличение pH снеговой воды и почвы, массы взвешенных веществ и содержания тяжелых металлов в снеговой воде [3, 4]. В условиях аэротехногенных выбросов комбината «Магnezит» ранее установлено ухудшение состояния естественных сосновых древостоев [5] и опытных культур *Betula pendula Roth* [6, 7], снижение надземной фитомассы [8], увеличение ксероморфности листьев и содержания Mg в листьях [9] опытных культур *Betula pendula Roth*, слабое влияние данного загрязнения на посевные качества семян *Pinus sylvestris* L. [10]. В этих условиях возникла необходимость выяснения особенностей произрастания основных лесообразующих древесных видов в зоне загрязнения магnezитовой пылью.

#### Методика и объект исследований

Наши исследования проводились (2010–2011 гг.) в окрестностях г. Сатка Челябинской области на четырех опытных участках (ОУ): в зоне сильного загрязнения – ОУ №2, среднего загрязнения – ОУ №5, слабого загрязнения – ОУ №3 и очень слабого загрязнения – ОУ №4 (условно контрольный участок). Район г. Сатка расположен в центральной части подзоны хвойно-широколиственных и южно-таежных хвойных лесов лесной зоны Южного Урала [11]. Объекты наших исследований – опытные

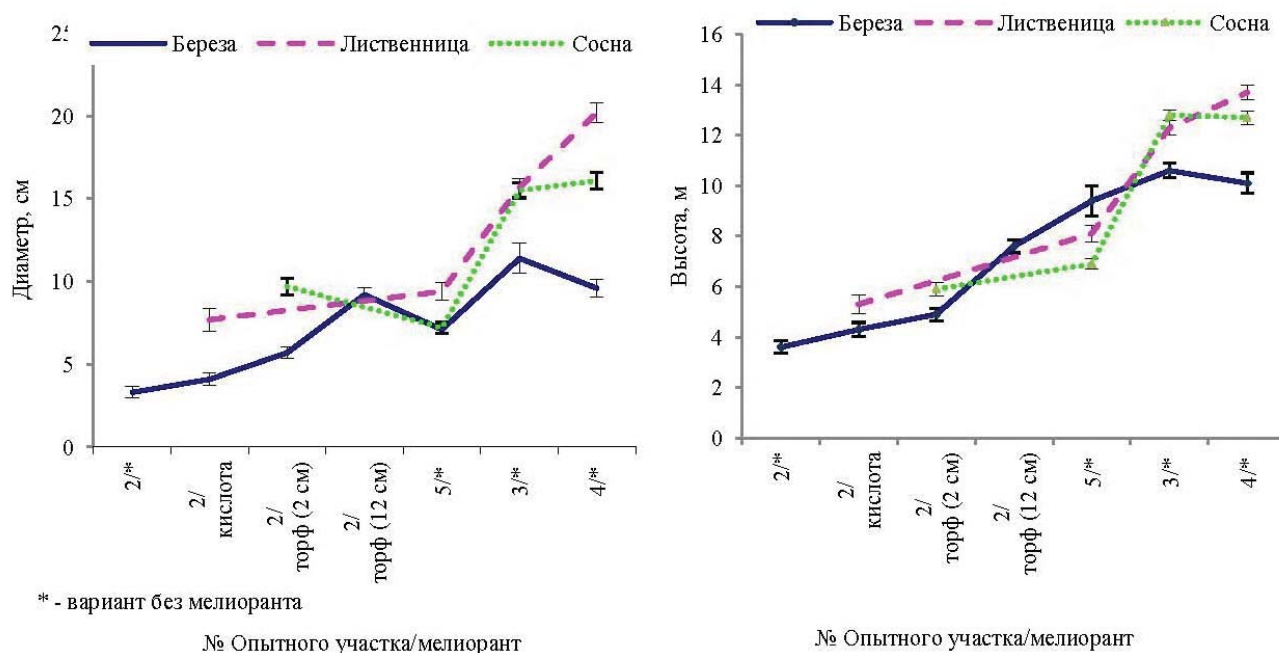
лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* D у l.) и берёзы повислой (*Betula Pendula Roth*), созданные рядовой посадкой в 1980–1983 гг. Уральской лесной опытной станцией ВНИИЛМ с целью исследования пригодности почв для лесовосстановления в различных зонах магnezитового загрязнения. При закладке опытных участков использовали следующие мелиоранты: торф слоем 12 см, торф слоем 2 см, слабый раствор серной кислоты (для снижения показателя pH почвы). Все обследованные участки размещены на северо-восток от источника выбросов и согласно розе ветров находятся в зоне основного сноса пыли [12]. Диаметр опытных культур на высоте 1,3 м определялся через окружность дерева, которая измерялась мерной лентой с точностью до 0,1 см. Высота дерева измерялась высотомером Haglof с точностью до 0,1 м. Категория состояния оценивалась по шестибалльной шкале категорий состояния [13], индекс повреждения древостоя рассчитывался как средневзвешенное из категорий [14].

#### Результаты исследований и их обсуждение

В ходе обследования опытных культур установлено, что через 30 лет после посадки в зонах среднего и слабого загрязнения сохранились все виды культур. В зоне сильного загрязнения культуры большинства вариантов погибли, в некоторых вариантах сохранились отдельные

экземпляры культур, и только вариант берёзы повислой с торфом слоем 12 см в качестве мелиоранта можно считать успешным. Торф слоем 12 см в качестве мелиоранта использовался только для посадки берёзы повислой. Сосна обыкновенная и лиственница Сукачева в зоне сильного загрязнения сохранились отдельными экземплярами: сосна в варианте с торфом слоем 2 см, а лиственница в варианте со слабым раствором кислоты. В дальнейшем мы называем этот вариант с кислотой. Анализ роста культур в рассматриваемых вариантах показал, что диаметр берёзы в варианте с торфом слоем 12 см незначительно больше диаметра лиственницы в варианте с кислотой и незначительно меньше диаметра сосны в варианте с торфом 2 см, а высота берёзы превышает высоту сосны и лиственницы (рисунок).

Торф слоем 12 см в качестве мелиоранта увеличил рост берёзы по сравнению с вариантом без мелиоранта по диаметру в 2,8 раза ( $t = 9,23$  при  $p < 0,001$ ), а по высоте – в 2,1 раза ( $t = 10,2$  при  $p < 0,001$ ). Анализируя берёзу и сосну при одинаковом слое торфа, равном 2 см, видим, что у сосны высота больше на 20% ( $t = 2,46$  при  $p = 0,02$ ), а диаметр больше на 70% ( $t = 6,34$  при  $p < 0,001$ ), чем у берёзы. Сохранившиеся экземпляры лиственницы в варианте с кислотой показали лучший рост по сравнению с берёзой в таком же варианте: диаметр больше на 88% ( $t = 4,75$  при  $p < 0,001$ ), а высота – на 23% ( $t = 1,89$  при  $p = 0,06$ ).



Средний диаметр и высота на разных опытных участках

А в сравнении с сосной обыкновенной в варианте с торфом слоем 2 см диаметр лиственницы меньше на 26% ( $t = 2,40$  при  $p = 0,02$ ), а высота меньше незначительно. Это сводится к следующему: в зоне сильного загрязнения хвойные виды в сохранившихся вариантах проявляют лучший рост, чем берёза.

Анализируя рост культур в зоне среднего загрязнения (ОУ № 5), видим, что лучший рост по диаметру у лиственницы. Диаметр лиственницы больше на 32% и на 31% ( $t = 4,23$ ;  $t = 3,48$  при  $p < 0,001$ ) диаметров берёзы и сосны соответственно. Различия по высоте между видами в данной зоне не достоверны. В зоне слабого загрязнения у лиственницы также отмечен лучший рост по сравнению с берёзой. Диаметр лиственницы

больше диаметра берёзы на 38% ( $t = 3,81$  при  $p < 0,001$ ), а высота – на 16% ( $t = 4,01$  при  $p < 0,001$ ). По сравнению с сосной в данной зоне у лиственницы различия не достоверны.

На контрольном участке лучший рост также отмечен у лиственницы. Здесь диаметр у лиственницы больше в 2,1 раза ( $t = 13,14$  при  $p < 0,001$ ), чем диаметр у берёзы, и на 25% ( $t = 5,06$  при  $p < 0,001$ ) больше диаметра сосны. А по высоте лиственница выше, чем берёза, на 36% ( $t = 7,10$  при  $p < 0,001$ ) и незначительно выше сосны. Отсюда можно сделать вывод, что в условиях магнетитового загрязнения показатели роста лиственницы выше, чем у берёзы и сосны.

Наши исследования свидетельствуют, что с увеличением техногенной нагрузки у всех

видов опытных культур снижаются показатели роста, но в разной степени. В зоне сильного загрязнения высота культур берёзы в варианте с торфом слоем 12 см ниже на 25% ( $t = 4,71$  при  $p < 0,001$ ) по сравнению с высотой берёзы на контрольном участке, а по диаметру данные культуры существенно не различаются. В варианте с торфом слоем 2 см в этой же зоне средние диаметр и высота берёзы меньше по сравнению с таковыми на контрольном участке на 41 и на 51% ( $t = 4,68$ ;  $t = 8,21$  при  $p < 0,001$ ).

У сосны в этой же зоне в варианте с торфом слоем 2 см диаметр и высота меньше на 40 и на 54% ( $t = 5,77$ ;  $t = 11,84$  при  $p < 0,001$ ) соответственно по сравнению с таковыми на контроле. Вместе с тем диаметр и высота берёзы в варианте

с кислотой в этой же зоне меньше, чем на контроле, на 57% ( $t = 6,82$ ;  $t = 9,35$  при  $p < 0,001$ ), а соответствующие показатели у лиственницы в этом же варианте меньше на 62 и 61% соответственно ( $t = 8,43$ ;  $t = 12,18$  при  $p < 0,001$ ). Опытные культуры в меньшей степени снижают рост с увеличением магнетитового загрязнения в вариантах с торфом, и чем больше слой торфа, тем меньше снижается рост.

По данным оценки состояния культур установлено, что наиболее ослаблены культуры, приближенные к источнику выбросов (таблица). С увеличением степени загрязнения идёт возростание среднего индекса повреждения древостоя и величины средней дефолиации. В зоне сильного загрязнения у берёзы повислой в варианте без мелиоранта средний индекс повреждения больше в 2,9 раза, у сосны

обыкновенной в варианте с торфом 2 см – в 3,2 раза, а у лиственницы сибирской – на 90%, чем у соответствующей культуры на контрольном участке. Отсюда видно, что наименьшая степень повреждения отмечена у лиственницы, а наибольшая – у сосны. Анализ показал, что внесение торфа в почву при посадке культур берёзы повислой снизило степень повреждения древостоя.

Жизненное состояние опытных культур

№ ОУ/ расстояние от источника выбросов, км	Порода	Вариант	Средний индекс повреждения древостоя	Средняя дефолиация, %
2/1	Б	Без мелиоранта	$3,5 \pm 0,13$	$60 \pm 3,25$
	Б	Торф 2 см	$3,5 \pm 0,08$	$61 \pm 2,52$
	С		$3,8 \pm 0,10$	$72 \pm 3,10$
	Б	Торф 12 см	$3,3 \pm 0,11$	$50 \pm 2,02$
	Лц	Кислота	$1,9 \pm 0,06$	–
5/3	Б	Без мелиоранта	$2,4 \pm 0,06$	$36 \pm 1,04$
	С	Без мелиоранта	$2,7 \pm 0,08$	$45 \pm 2,04$
	Лц	Без мелиоранта	$1,0 \pm 0,03$	–
3/5	Б	Без мелиоранта	$1,2 \pm 0,07$	$11 \pm 1,29$
	С	Без мелиоранта	$1,3 \pm 0,11$	$15 \pm 1,63$
	Лц	Без мелиоранта	$1,0 \pm 0,01$	–
4/10	Б	Контроль	$1,2 \pm 0,09$	$12 \pm 0,76$
	С	Контроль	$1,1 \pm 0,06$	$10 \pm 1,17$
	Лц	Контроль	$1,0 \pm 0,01$	–

### Выводы

В результате исследований установлено, что лиственница Сукачева в условиях магнетитового загрязнения показывает лучшие показатели роста по сравнению с берёзой повислой и сосной обыкновенной. Сравнение разных вариантов посадки культур в зоне сильного

загрязнения свидетельствует, что успешным является вариант с торфом. Применяя низинный торф в достаточных количествах (например слоем не менее 12 см), можно создавать культуры и в зоне сильного загрязнения. Создание культур в зонах среднего и слабого загрязнения возможно из любых иссле-

дуемых видов без каких-либо специальных мелиорантов.

Установлено негативное влияние магнетитового загрязнения на жизненное состояние опытных культур. Наименьшее негативное влияние магнетитового загрязнения на жизненное состояние отмечено у лиственницы.



## Библиографический список

1. Носырев В. И. Вредное воздействие магнезитовой пыли на древесную растительность // Лесн. хоз-во. 1962. № 1. С. 18–21.
2. Симонов К. В., Бочаров Л. Д., Устьянцев В. М. Об образовании и отложении в электрофильтрах сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов и фторида магния при обжиге магнезита во вращающихся печах // Огнеупоры. 1979. № 4. С. 22–27.
3. Менщиков С. Л., Кузьмина Н. А., Мохначев П. Е. Воздействие атмосферных выбросов магнезитового производства на почвы и снеговой покров // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2012. № 5 (37). С. 221–224.
4. Кузьмина Н. А., Менщиков С. Л. Влияние аэротехногенных выбросов магнезитового производства на химический состав снеговой воды и почвы в динамике // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2015. № 6 (56). С. 192–196.
5. Завьялов К. Е. Состояние сосновых древостоев зелёной зоны г. Сатка, подверженных аэротехногенным выбросам магнезитового производства // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2015. № 6 (56). С. 57–59.
6. Завьялов К. Е., Менщиков С. Л. Состояние берёзовых культур в условиях магнезитового загрязнения // Аграрная Россия. 2009а. Спец. вып. С. 60–61.
7. Завьялов К. Е. Состояние искусственных насаждений берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнезитового загрязнения: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Завьялов К. Е. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009б. 16 с.
8. Завьялов К. Е., Менщиков С. Л. Надземная фитомасса опытных культур берёзы повислой в условиях загрязнения магнезитовой пылью // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2010. № 4 (28). С. 27–30.
9. Завьялов К. Е. Морфология и химический состав листьев опытных культур берёзы повислой (*Betula Pendula* Roth) в условиях магнезитового загрязнения // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2013. № 3 (41). С. 230–232.
10. Мохначев П. Е., Махнева С. Г., Менщиков С. Л. Особенности репродукции сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях загрязнения магнезитовой пылью // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2013. № 3 (41). С. 8–9.
11. Колесников Б. П. Леса Челябинской области // Леса СССР. М., 1969. Т. 4. С. 125–157.
12. Менщиков С. Л. Исследование экологических особенностей роста и обоснование агротехники создания культур хвойных пород в условиях магнезитовых запылений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Менщиков С. Л. Свердловск, 1985. 20 с.
13. Санитарные правила в лесах Российской Федерации. М., 2006. 16 с.
14. Менщиков С. Л. Методические аспекты оценки ущерба лесов, поврежденных промышленными выбросами на Среднем Урале // Леса Урала и хоз-во в них. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. Вып. 21. С. 243–251.

## Bibliography

1. Nosyrev V. I. Harmful effects of magnesite dust on wood vegetation // Forestry Journal. 1962. № 1. P. 18–21.
2. Simonov K. V., Bocharov L. D., Ustyantsev V. M. About education and adjournment in electric precipitators of sulfates alkaline both the shchelochnozemelnykh of metals, and magnesium fluoride when roasting magnesite in the rotating furnaces // Refractories. 1979. No. 4. P. 22–27.
3. Menshikov S. L., Kuzmina N. A., Mohnachev P. E. Influence of atmospheric emissions of magnesite production on soils and snow cover // News Orenburg State Agrarian University. 2012. No. 5 (37). P. 221–224.

4. Kuzmina N. A., Menshchikov S. L. Influence of aero technogenic emissions of magnesite production on the chemical composition of snow water and the soil in dynamics // News Orenburg State Agrarian University. 2015. No. 6 (56). P. 192–196.
  5. Zavyalov K.E. Sostoyaniye of pine forest stands of a green zone Satka, subject to aero technogenic emissions of magnesite production // News Orenburg State Agrarian University. 2015. No. 6 (56). P. 57–59.
  6. Zavyalov K. E., Menshikov S. L. Condition of birch cultures in the conditions of magnesite pollution // Agricultural Russia. 2009a. Special issue. P. 60–61.
  7. Zavyalov K. E. Condition of artificial plantations of the silver birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of magnesite pollution: avtoref. dis. ... cand. agric. sciences / Zavyalov K. E. Yekaterinburg, 2009b. 16 p.
  8. Zavyalov K. E., Menshikov S. L. Overground phytomass of pilot cultures of the birch in conditions of magnesite dust pollution // News Orenburg State Agrarian University. 2010. No. 4 (28). P. 27–30.
  9. Zavyalov K. E. Morphology and chemical composition of leaves of pilot cultures of the silver birch (*Betula Pendula Roth*) in the conditions of magnesite pollution // News Orenburg State Agrarian University. 2013. No. 3 (41). P. 230–232.
  10. Mohnachev P. E., Makhniova S. G., Menshikov S. L. Features of reproduction of the Scotch pine (*Pinus silvestris* L.) in the conditions of pollution by magnesite dust / P. E. Mohnachev, // News Orenburg State Agrarian University. 2013. № 3 (41). P. 8–9.
  11. Kolesnikov B. P. Forests of Chelyabinsk region // Forests of the USSR. M., 1969. Vol. 4. P. 125–157.
  12. Menshikov S. L. Research of ecological features of growth and reasons for agrotechnology of creation of cultures of coniferous breeds in the conditions of magnesite dust: avtoref. diss. ... cand. agricult. sciences / Menshikov S. L. Sverdlovsk, 1985. 20 p.
  13. Health regulations in the woods of the Russian Federation. M., 2006. 16 p.
  14. Menshikov S. L. Methodical aspects of assessment of forest damage, damaged by industrial emissions on the average Urals // Forests Urals and forestry in them. Yekaterinburg: USFEU, 2001. Vol. 21. P. 243–251.
-